

Погрешность в определении значения коэффициента теплопередачи по разработанной нами методике составляет 12%, что является вполне приемлемой величиной для определения количества отложений на теплообменной поверхности аппарата.

1. Пугач В.В. Перспективы развития производства теплообменных аппаратов с полимерными покрытиями // Современные тенденции конструирования, технологии изготовления и расчета теплообменного оборудования: Сб. науч. тр. – М., 1992. – С.5-17.

2. Бубликов И.А., Миропольский З. Л., Новиков Б. Е. Исследование термического сопротивления отложений в теплообменниках, охлаждаемых технической водой // Теплоэнергетика. – 1992. – №5. – С.71-74.

3. Watkinson M.P., Louis L., Brent R. Scaling of Enhanced Heat Exchanger Tubes // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 1974. – Vol. 52. October. – P.558-562.

4. Rabax M.A., Eldighige S.A., Aboukhashaba A.A. Effect of calcium cation (Ca^{++}) on the of deposition of iron oxide on heated surfaces in boiling water // Journal of the Institute of energy. – 1984. – Vol. 57. № 433. – P.421-426.

5. Бондарь Ю.Ф., Гронский Р.К. Методические указания по эксплуатации бессточных систем охлаждения. МУ 34-70-115-85 Ю. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1986. – 35 с.

6. Taborek J., Aoki T., Ritter R. a.o. Methods for Fouling Behavior // Chemical Engineering Progress. – 1972. – Vol. 68. № 7. – P.69-78.

7. Царик Д.Ф. Методика определения средней толщины слоя накипи // Водоснабжение и санитарная техника. – 1990. – № 7. – С.9-10.

Получено 11.09.2008

УДК 620.193

С.В. НЕСТЕРЕНКО, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ И НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ НА ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Рассматривается технология обработки подпиточной воды для предотвращения процессов коррозии и накипеобразования на теплообменных поверхностях. В качестве реагентов для уменьшения указанных процессов используются фосфорорганические комплексоны и ингибиторы коррозии.

Недостатками умягчения воды натрий-катионированием являются непрерывное потребление привозной соли, расход свежей воды на собственные нужды химводоочистки и загрязнение водоемов сточными водами, содержащими большое количество хлоридов, причем нейтрализация и утилизация засоленных сточных вод котельных является одной из экологических проблем. В настоящее время затраты на реализацию различных предложений по обработке и утилизации стоков зачастую превышают стоимость самой водоподготовки. Современное состояние отечественной экономики и окружающей среды диктует

применение альтернативных умягчению экологически чистых, дешевых технологических решений при подготовке подпиточной воды.

Использование фосфорсодержащих комплексонов для стабилизационной обработки воды было начато ИРЕА (г.Москва) совместно с УралВТИ, а в дальнейшем рассматривалось в работах [1, 2].

Следует отметить, что влияние мольного соотношения ингибитор/кальций на процесс ингибирования носит немонотонный характер. При слишком малых количествах фосфонат не в состоянии замедлить кристаллизацию, и в системе образуются осадки. Далее, по мере относительного увеличения содержания ингибитора, наблюдается область *A* субстехиометрического ингибирования, т.е. образования устойчивых коллоидных систем. При дальнейшем увеличении концентрации фосфоната вновь образуется зона "неоднородности" *B*, что, по-видимому, связано с нарушением устойчивости коллоидов. Эта область наименее изучена. Наконец, при превышении соотношения $[\text{инг.}/\text{Ca}] > 1$ система переходит в область истинных растворов *C* – область стехиометрического взаимодействия (комплексобразования, секвестирования, маскирования). В этой области кальций уже не определяется в растворе обычным титрованием.

Экспериментально установлено, что фосфонаты вызывают также разрушение уже образовавшихся карбонатных отложений: в присутствии фосфонатов происходит перестройка кристаллов CaCO_3 , рост отдельных кристаллов приводит к возникновению механических напряжений в слое накипи, что вызывает ее растрескивание. Это явление используют иногда для очистки оборудования «на ходу», т.е. не останавливая его. Следует оговорить, однако, что эффект этот проявляется в малоизученном диапазоне концентраций, относящихся к зоне *B*, и применение его связано с большим риском.

Область применения фосфонатов существенно ограничена накипеобразующими свойствами воды и теплотехническими характеристиками оборудования. Кроме того, эффективное действие фосфонатов возможно только при отсутствии кипения.

На коммунальных предприятиях широко используется теплообменное оборудование, необходимое для получения горячей воды и обогрева жилых помещений. Процессы накипеобразования значительно уменьшают эффективность процессов теплопередачи. Коррозионные процессы в условиях теплопередачи протекают более интенсивно, так как на поверхности металла в приэлектродном слое достигается более высокая температура и перемешивание среды, что ускоряет электрохимические процессы коррозии. Прогнозирование срока службы оборудования невозможно без точной количе-

ственной оценки скоростей и механизмов процессов коррозии и накипеобразования. Одной из главных проблем большой и малой теплоэнергетики, всех отраслей промышленности и жилищно-коммунального комплекса является очистка и защита от накипи и коррозии систем тепло и водоснабжения. Решить задачу предотвращения образования накипи можно, используя производные фосфоновой кислоты, в частности, оксиэтилендифосфоновую (ОЭДФ) или нитрилотриметилфосфоновую (НТФ) кислоты и композиции на их основах.

Целью данной работы является разработка ингибиторной композиции для предотвращения процессов коррозии и накипеобразования на основе комплексона – оксиэтилендифосфоновой кислоты (ОЭДФК). Применение алкилидендифосфоновых кислот основано на способности их образовывать растворимые в воде комплексные соединения со щелочноземельными и переходными металлами, устойчивыми как в кислой, так и в щелочной среде. Фосфорорганические комплексоны эффективны в очень небольших концентрациях 0,1-10 мг/л, которые называют «пороговыми». Механизм «порогового» эффекта, отличается от обычного комплексообразования (например, с трилоном Б). «Пороговые» агенты, фосфорорганические комплексоны могут быть эффективны в небольших концентрациях, даже если они полностью не предотвращают отложения накипи. В этом случае проявляется тенденция к разрыхлению образованной накипи, которая не оседает на поверхности, а находится во взвешенном состоянии. Это объясняется наличием донорных функций у атомов кислорода фосфоновой группы и способностью образовывать полициклические хелатные соединения полимерного типа, которые «сшиваются» через гидроксильные ионы.

Исследования процессов коррозии и накипеобразования проводили с помощью лабораторной установки. Сущность ее работы заключается в нагревании в теплообменнике растворов, содержащих накипеобразующие агенты в виде бикарбоната кальция и магния (4,2-8,2 мг-экв./л). Односекционный теплообменник типа „труба в трубе“ представляет собой трубу из Ст.3, помещенную в стеклянный кожух. Трубу обогревали изнутри паром, а снаружи охлаждали рециркулирующим раствором. Продолжительность опыта – 100 ч.

Коррозионные испытания образцов проводили по общепринятым методикам исследования скорости коррозии в электролитах. Кроме испытания образцов гравиметрическим методом для определения оптимальных концентраций ингибирующей композиции применяли усовершенствованный метод исследования – потенциостатический. Сущность данного метода исследования состоит в том, что измеряли зависимость

плотности тока от поляризующего потенциала. Каждому значению потенциала соответствует вполне определенная величина плотности тока. Обычно строят поляризационные кривые ($I_{\text{г}}$ от E). Этот метод нашел широкое распространение для изучения влияния ингибиторов коррозии в растворах электролитов. Оценку величины скорости коррозии сталей проводили по методу Мансфелда [3, 4]. Электрохимические исследования проводили с помощью лабораторной установки с теплопередачей [5].

Исследованиями установлено, что добавка комплексона в сетевую воду эффективно тормозит протекание процессов осаждения карбонатов кальция и гидроксида магния на поверхности металла. Антинакипный эффект составляет 92-95% при концентрации комплексона ОЭДФК в сетевой воды 2-5 мг/л. Было также обнаружено, что без добавок в воду неорганических ингибиторов коррозии комплексон даже в присутствии солей жесткости стимулирует локальную коррозию черных металлов [6]. Установлено, что в качестве ингибитора коррозии наиболее эффективно использовать жидкое стекло и полифосфат натрия в количестве 10-120 мг/л. Результаты испытаний ингибиторной композиции ОЭДФ(И) в условиях лабораторной установки приведены в таблице.

Влияние ингибиторной композиции ОЭДФ(И)
на процессы коррозии и накипеобразования

рН воды	Т, °С	Коэффициент упаривания	Концентрация инги- биторной компози- ции, мг/л	Скорость коррозии, г/м ² ч	Скорость накипеобразо- вания, г/м ² ч
7,97	40	1,5	15,0	0,0865	0,0871
	60	1,5	15,0	0,2013	0,0721
	60	3,0	17,5	0,1847	0,0731
8,7	40	3,0	17,5	0,0942	0,0520
	60	3,0	17,5	0,1847	0,0731
9,32	40	1,5	19,0	0,0035	0,0227
	60	1,5	19,0	0,0056	0,0631
8,0	60	3,0	0	0,3901	0,980
7,8	60	1,5	0	0,4233	0,130

Таким образом, разработанная композиция эффективно тормозит процессы коррозии и накипеобразования в условиях теплопередачи. Композицию ОЭДФ(И) можно использовать на предприятиях коммунального хозяйства, что увеличит эффективность теплопередачи, а значит, приведет к экономии энергоресурсов.

Основными ограничениями при применении фосфонатов в качестве ингибиторов солеотложений являются:

а) по составу воды: величина Що не более 7 мг-экв./л; pH не более 8,5; общее содержание Fe не более 0,5 мг/л. В случае превышения этих норм можно рекомендовать комбинированный способ обработки воды, заключающийся в сочетании ингибирования с подкислением или обезжелезиванием;

б) по температурному режиму: для водогрейных котлов – температура воды на выходе не более 110 °С; для отопительных бойлеров – температура воды на выходе не более 130 °С.

Достаточно дозировать заданное количество кислоты в подпиточную воду теплосети, чтобы избежать образования накипи и удалить ранее образовавшуюся накипь, не прибегая к кислотным промывкам и механическим чисткам оборудования. Применение данной композиции также уменьшит затраты на ремонтные работы оборудования.

Применение ОЭДФ(И) и НТФ(И) позволяет решить следующие проблемы – предотвращение образования накипи, ингибирование коррозии, удаление накипи и удаление продуктов коррозии – одновременно, причём при малых концентрациях реагента.

1. Чаусов Ф.Ф., Раевская Г.А. Комплексный водно-химический режим теплоэнергетических систем низких параметров / Под ред. М.А.Плетнева и С.М.Решетникова. – 2-е изд. – Москва - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2003. – 154 с.

2. Балабан-Ирменин Ю. В., Липовских В. М., Рубашов А. М. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 120 с.

3. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыскин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. – Л.: Химия, 1982. – 240 с.

4. Джелали В.В. Система регистрации электродного импеданса в диапазоне $1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^5$ Гц и его анализ в электрохимическом и коррозионном эксперименте // Углекислотный журнал. – 2000. – № 3-4. – С.41-51.

5. Нестеренко С.В., Качанов В.А., Григоров В.И., Канцедаль Л.Д. Ингибирование и бактерицидная обработка подпиточной воды для замедления коррозии в системе оборотного цикла при использовании фенольных сточных вод коксохимических производств // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". Вип.16. – Харків, 2008. – С.88-92.

6. Нестеренко С.В., Стасенко С.П. Комплексная обработка оборотной воды коксохимических заводов для предотвращения процессов коррозии и накипеобразования // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.49. – К.: Техніка, 2003. – С.83-97.

Получено 05.09.2008

УДК 697.92

В.М.ЖЕЛИХ, канд. техн. наук, Н.А.СПОДИНЮК
Національний університет «Львівська політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ІНФРАЧЕРВОНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

Наведено графіки розподілу полів швидкостей руху повітря при роботі нагріваль-